

Bab 3 Kuat Geser Tanah

A. PENDAHULUAN.

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (*Shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa kelongsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh :

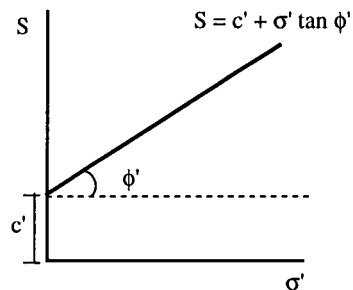
- Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (c soil).
- Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut gesek dalam (ϕ soil).
- Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan ϕ soil), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan(karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ).

Kuat geser dinyatakan dalam rumus :

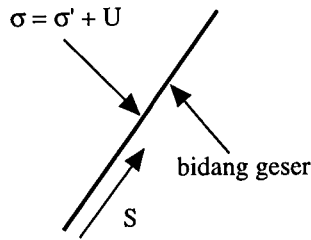
$$S = c' + \sigma' \tan \phi'$$

dimana :

- S = Kekuatan geser tanah.
- U = Tekanan air pori.
- σ = Tegangan total.
- σ' = Tegangan efektif.
- ϕ' = Sudut geser dalam efektif.
- c' = Kohesi.



Hubungan antara tegangan total, tegangan efektif dan tekanan air pori adalah sebagai berikut:



B. CARA PENGUJIAN UNTUK MENENTUKAN KUAT GESER

Pengujian kuat geser dimaksudkan untuk mencari parameter-parameter dari tanah yang diperlukan dalam menentukan kuat geser. Percobaan untuk menentukan kuat geser dibagi menjadi :

1. Drained Test

Sampel tanah diberi tegangan normal dan selama percobaan air dialirkan. Tegangan geser diberikan dengan air tetap terbuka dan tegangan pori dijaga supaya tetap nol.

2. Undrained Test

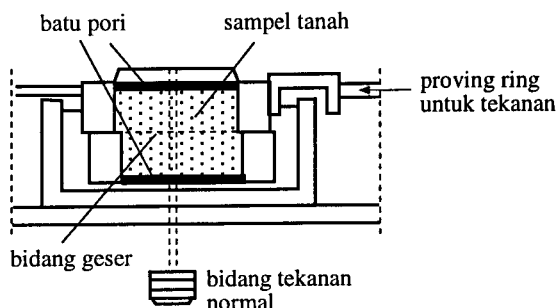
Pada percobaan ini tekanan air pori tidak diukur dan selama percobaan air tidak diperbolehkan mengalir. Hanya kekuatan geser undrained yang dapat ditentukan.

3. Consolidated Undrained Test

Sampel tanah diberikan tegangan normal sampai konsolidasi selesai dan air diperbolehkan mengalir dari sampel. Konsolidasi dianggap selesai jika sudah tidak ada perubahan pada isi sampel. Setelah itu jalan air ditutup dan sampel diberi tegangan geser secara undrained. Tegangan normal tetap bekerja dan tegangan pori diukur.

C. PERCOBAAN KUAT GESER

1. Percobaan geser langsung

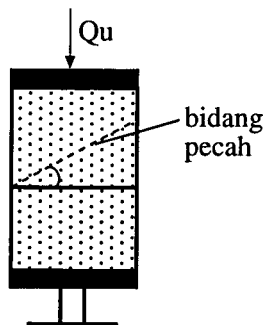


Sampel tanah berupa contoh tanah bertampang lingkaran dan ditaruh di dalam alat berupa dua buah cincin kemudian di atasnya diberi beban normal yang besarnya tetap. Sampel tanah digeser dengan gaya T yang besarnya berangsur-angsur dinaikan sampai tanah pecah tergeser (T1). Gaya T1 pada saat tanah pecah dicatat.

$$\text{Tegangan normal} \quad \sigma_1 = \frac{NI}{A}$$

$$\text{Tegangan geser} \quad S = \frac{TI}{A}$$

Percobaan dilakukan dengan tiga sampel tanah dan setiap sampel tanah dilakukan percobaan seperti di atas. Nilai sudut geser dalam dan kohesi dicari secara grafis berdasarkan hukum Coulomb : $S = c' + \sigma' \tan \phi'$



2. Uji tekan bebas (*Unconsolidated - Undrained = Unconfined Compression*)

Pengujian tekan bebas dilakukan jika sampel tanah berupa tanah kohesif. Benda uji berbentuk silinder dimana tingginya minimal dua kali diameternya. Beban Q_u berangsur-angsur diperbesar sampai tanah pecah, maka :

$$q_u = \frac{Q_u}{A}$$

$$\text{dan } S_u = c = 0.5 q_u$$

dimana :

S_u = Kuat geser tak terdrainasi.

Q_u = Beban

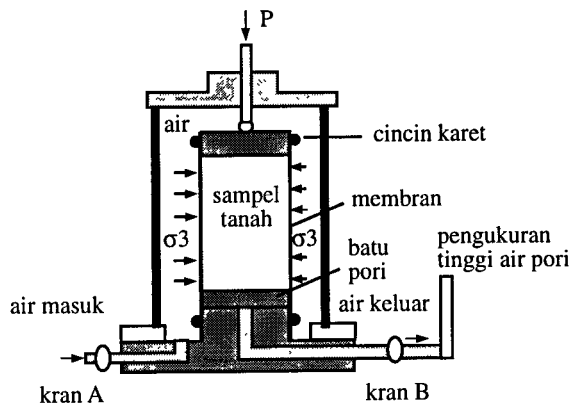
A = luas sampel

c = kohesi.

Jika pengujian dilakukan terhadap tanah yang sangat lunak, tanah tidak akan pecah tetapi cuma akan mengembang.

3. Uji triaksial (*Confined Compression*)

Pada pengujian ini sampel tanah diletakan di atas dasar sel dan dibagian atas ditutup. Sampel tanah ditutup dengan membran yang diameternya sama dengan sampel. Sel diisi dengan air dengan tegangan air dinaikkan sampai nilai yang dimaksudkan. Tegangan sel (σ_3) dibiarkan bekerja selama jangka waktu tertentu. Pengukuran kuat geser dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel. Pembacaan dapat dilakukan pada *proving ring* pada tegangan tertentu. Dari pembacaan dapat diketahui tekanan maksimum yang terjadi saat terjadi keruntuhan.



Sampel tanah berbentuk silinder dengan tinggi minimal dua kali diameter. Sampel tanah dibungkus dengan karet tipis sehingga air tidak dapat keluar, kemudian dimasukkan kedalam silinder yang diberi air dan tekanan, sehingga air akan masuk kesegala arah (σ_3). σ_3 ini disebut tegangan sel dan besarnya konstan. Dari atas, sampel tanah ditekan dengan beban P yang berangsur-angsur dinaikkan.

Maka :

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \sigma_3$$

dimana $\frac{P}{A}$ adalah tekanan deviator.

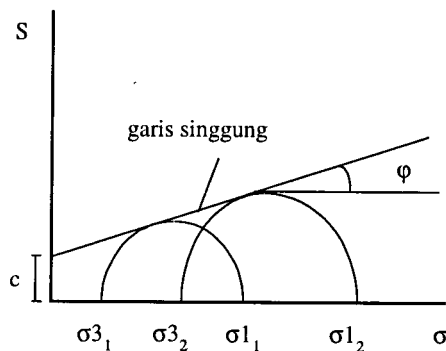
σ_1 dan σ_3 akan memecahkan tanah. Untuk mencari c dan ϕ semu berdasarkan tekanan total dalam hal ini kran A ditutup, sehingga air dalam tanah tidak dapat keluar. (undrained) Beban P baru diberikan setelah σ_3 bekerja, sehingga tidak memberikan kesempatan pada tanah berkonsolidasi (*unconsolidated*).

Mencari ϕ' dan c'

Untuk tanah lempung dapat dilakukan dengan *consolidated undrained* dan membaca tekanan air pori. *Consolidated* artinya σ_3 diberikan tetapi dibiarkan beberapa waktu baru kran B dibuka, dengan demikian σ_3 bekerja sehingga tanah berkonsolidasi sehingga air pada buret naik (konsolidasi selesai). Selanjutnya kran B ditutup dan P dinaikan. Perubahan tekanan air pori dapat dibaca pada manometer (U). Dengan kombinasi σ_1 , σ_3 , dan U dapat dicari ϕ' dan c' .

Dengan lingkaran Mohr

Pada pelaksanaan pengujian dilaksanakan minimal tiga kali dari sampel yang berbeda. Dari setiap sampel akan didapatkan σ_1 dan σ_3 . Dari data-data tersebut kemudian digambarkan lingkarannya dan ditarik garis singgung antara lingkaran-lingkaran tersebut. Garis singgung akan memotong sumbu S, maka nilai pada perpotongan tersebut adalah kohesi (c'). Nilai ϕ' adalah sudut yang dibentuk antara garis singgung dengan sumbu mendatar.



Lingkaran Mohr mempunyai diameter $\sigma_3 - \sigma_1$.

Kondisi pengujian triaksial.

1. *Unconsolidated Undrained* (UU)

Pada pengujian ini sampel tanah tidak dikonsolidasi terlebih dahulu sebelum pembebanan. Selama pengujian kran A selalu ditutup sehingga tidak terjadi drainasi. Setelah σ_3 bekerja, σ_1 dapat langsung dikerjakan tanpa harus menunggu sampel terkonsolidasi. Pada kondisi ini yang akan diperoleh adalah ϕ dan c , karena pengujian pada tekanan total.

2. *Consolidated Undrained* (CU)

Sebelum σ_1 diaktifkan sampel tanah harus dikonsolidasikan dulu dengan beban σ_3 dengan cara σ_3 diaktifkan dulu dan diberi waktu supaya air pori keluar dulu. Setelah konsolidasi benar-benar selesai, barulah beban diaktifkan dengan penambahan beban sampai tanah pecah. Cara ini digunakan untuk pengujian sampel tanah pada umumnya. Pada saat pelaksanaan pengujian besarnya air pori dicatat.

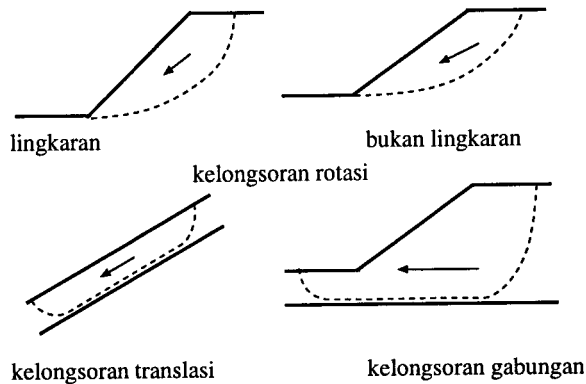
Tekanan efektifnya $\sigma'_3 = \sigma_3 - U$ dan $\sigma'_1 = \sigma_1 - U$.

3. Consolidated Drained (CD)

Tanah dikonsolidasikan dahulu oleh tekanan sel σ_3 kran A dibuka dan ditunggu sampai konsolidasi selesai. Pembebanan dilaksanakan perlahan-lahan dan kran A selalu terbuka sehingga tekan pori nol dan didapatkan σ_3 dan σ'_1 . Nilai yang didapat adalah ϕ' dan c' . Cara ini sesuai untuk pengujian tanah kepasiran dan nilai k tinggi.

D. STABILITAS LERENG

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan timbunan dan galian. Type-type keruntuhan lereng dibagi menjadi keruntuhan rotasi, keruntuhan translasi dan keruntuhan gabungan. Kelongsoran rotasi (*rotasional slip*) potongan permukaan runtuhnya berupa busur lingkaran (*circular arc*) untuk kondisi tanah yang homogen atau kurva bukan lingkaran untuk kondisi tanah yang tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) cenderung terjadi bila lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng sedangkan kalau lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser yang berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal maka keruntuhan yang terjadi berupa keruntuhan gabungan.



gambar type-type keruntuhan lereng

Menganalisis stabilitas lereng dengan metode keseimbangan batas (*limiting equilibrium method*) digunakan suatu anggapan bahwa keruntuhan terjadi pada titik-titik disepanjang permukaan runtuh. Kekuatan geser dibutuhkan untuk mempertahankan kondisi keseimbangan batas dibandingkan dengan kekuatan geser yang ada pada tanah, dan akan memberikan faktor keamanan rata-rata sepanjang permukaan runtuh.

Keadaan dengan tegangan total $\phi_u = 0$

Pada keadaan ini mencakup kasus lempung jenuh sempurna pada kondisi tak-terdrainasi tepatnya untuk kondisi segera sesudah pelaksanaan pembangunan. Dalam analisis ini yang ditinjau hanya keseimbangan momen. Pada potongan, permukaan runtuh potensial diasumsikan

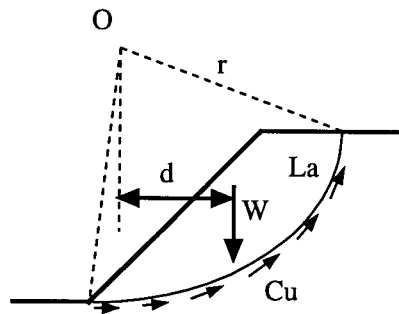
sebagai sebuah busur lingkaran. Suatu permukaan runtuh coba-coba seperti terlihat pada gambar. Ketidakstabilan potensial disebabkan oleh berat total masa tanah persatuan panjang di atas permukaan runtuh. Untuk keseimbangan, kekuatan geser yang harus dikerahkan disepanjang permukaan runtuh dinyatakan dalam

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{F} = \frac{C_u}{F}$$

dimana F adalah faktor keamanan yang sesuai terhadap kekuatan geser. Dengan jumlah momen dititik o, diperoleh :

$$W d = \frac{C_u}{F} L a r, \text{ sehingga}$$

$$F = \frac{C_u L a r}{W d}$$

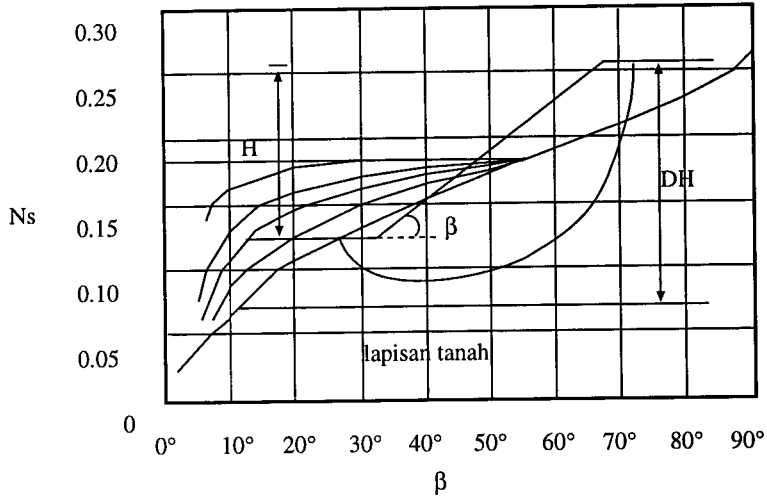


Gambar Analisis $\phi_u = 0$

Adalah penting untuk menganalisis lereng dengan sejumlah permukaan runtuh coba-coba untuk menentukan keamanan minimum. Berdasarkan prinsip kesebangunan geometris Taylor mempublikasikan koefisien stabilitas untuk analisa lereng homogen dalam tegangan total. Untuk lereng dengan ketinggian H, koefisien stabilitas (Ns) untuk permukaan runtuh dimana faktor keamanannya minimum adalah

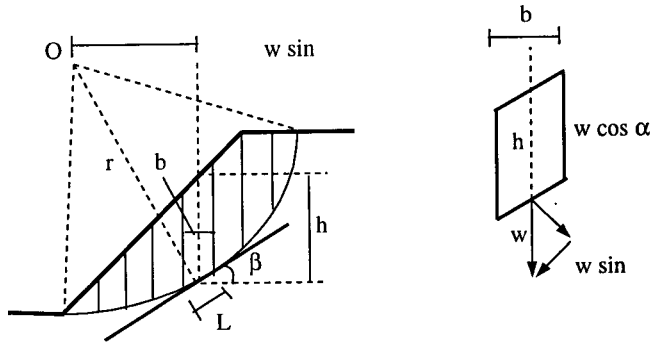
$$N_s = \frac{C_u}{F \gamma H}$$

Untuk kasus Nilai Ns dapat ditentukan dari gambar. Koefisien Ns tergantung pada sudut lereng dan faktor kedalaman D.



Metode Irisan

Metode ini garis longsor dianggap garis lingkaran. Faktor aman dicari terhadap banyak lingkaran coba-coba dengan titik pusat dan jari-jari yang berbeda, lalu dipilih yang minimum.



Gaya-gaya yang bekerja pada pias-pias untuk satu satuan panjang dalam arah tegak lurus adalah :

- Berat pias $w = \text{luas pias} \times \gamma = b h \gamma$
 $w \sin \alpha =$ komponen searah dasar.
 $w \cos \beta =$ komponen normal pada dasar pias.
- Gaya normal pada dasar pias $N = N' + U$
 $N' =$ gaya normal efektif $= \sigma' L$
 $U =$ gaya air batas. $= U L$
- Gaya geser pada dasar $= T$
- Gaya normal total pada sisi pias.
- Gaya geser pada sisi-sisi.

Menurut Fellenius.

Dengan asumsi bahwa untuk setiap pias resultan gaya antar irisan adalah nol, maka penyelesaian meliputi penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap pias yang tegak lurus terhadap dasar :

$$N' = w \cos \alpha - UL$$

Faktor keamanan :

$$F = \frac{c' L a + \tan \varphi' \sum (w \cos \alpha - UL)}{\sum w \sin \alpha}$$

Untuk analisis yang menggunakan tegangan total digunakan parameter-parameter dan nilai U adalah nol. Bila = 0 faktor keamanannya adalah :

$$F = \frac{c'_a L_a}{\sum w \sin \alpha}$$

Menurut Bishop

Diasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi pias adalah nol, maka keseimbangan gaya geser pada setiap pias adalah :

$$T = \frac{1}{F} (c' L + N \tan \varphi')$$

dengan penyelesaian kembali gaya gaya dalam arah vertikal :

$$w = N' \cos a + U L \cos a + \frac{c' L}{F} \sin \alpha + \sin \alpha + \frac{N'}{F} \tan \varphi' \sin \alpha$$

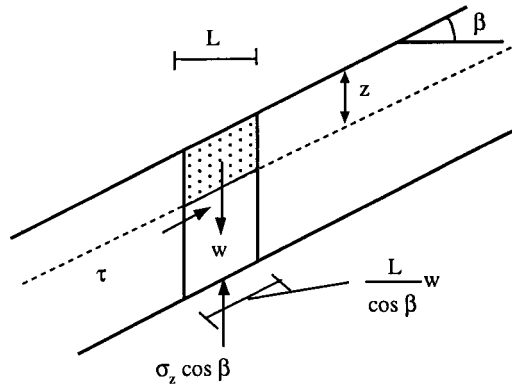
$$F = \frac{(w - \frac{c' L}{F} \sin \alpha - UL \cos \alpha)}{(\cos + \frac{\tan \varphi' \sin \alpha}{F})}$$

dengan $L = b$, maka :

$$F = \frac{1}{\sum w \sin \alpha} \sum \left[\{c'b + (w - Ub) \tan f'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi'}{F}} \right]$$

Metode ini dapat dipergunakan dalam analisis untuk tanah pada umumnya, tanah berlapis, bendungan yang terdiri atas berbagai jenis bahan, ada rembesan dalam tanah, dan pengaruh gempa diperhitungkan.

Kelongsoran Translasi Bidang



Dari gambar maka tanah akan longsor dengan garis kelongsoran sejajar dengan muka tanah pada kedalaman z. Untuk permeter tebal, maka :

Tekanan vertikal pada bidang longsor :

$$\sigma_z = \frac{w}{L} = z \gamma \cos \beta$$

Tegangan geser $\tau = \sigma_z \sin \beta = z \gamma \cos \beta \sin \beta$

Komponen normal $\sigma = \sigma_z \cos \beta = z \gamma \cos^2 \beta$

Faktor keamanan :

$$F = \frac{z \gamma \cos^2 \beta \tan \phi}{z \gamma \cos \beta \sin \beta} = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Keadaan kritis jika faktor keamanan $F = 1$.

Jika ada rembesan air dengan muka air sama dengan muka tanah maka :
tegangan geser :

$$\tau = z \gamma_{\text{sat}} \cos \beta \sin \beta$$

Gaya lawan = gesekan = gaya normal efektif x $\tan \phi$
 $= z \gamma' \cos^2 \beta \tan \phi$

Faktor keamanan :

$$F = \frac{z \gamma' \cos^2 \beta \tan \phi}{z \gamma_{\text{sat}} \cos \beta \sin \beta} = \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{\text{sat}} \tan \beta}$$